

Seleção de Parceiros em Sistemas Par-a-Par de Vídeo sob Demanda

Igor M. Moraes e Otto Carlos M. B. Duarte*

¹Grupo de Teleinformática e Automação, PEE/COPPE-DEL/POLI,
Universidade Federal do Rio de Janeiro

{igor,otto}@gta.ufrj.br

Resumo. Neste artigo, avalia-se o uso de mecanismos de seleção de parceiros para aumentar a disponibilidade de pedaços de interesse entre os participantes em sistemas par-a-par de vídeo sob demanda. Apresenta-se o mecanismo de seleção de parceiros baseado no tempo de vida dos participantes e compara-se seu desempenho com outros mecanismos similares através de simulação. Mostra-se que o mecanismo baseado no tempo de vida seleciona parceiros mais eficientes do que os demais mecanismos e não exige nenhuma mensagem de controle adicional, devido à interatividade dos usuários. Por isso, proporciona uma continuidade de reprodução do vídeo superior a 99% e uma taxa de acerto de cache superior a 95% para os padrões de interatividade analisados. O mecanismo baseado no tempo de vida atinge esse desempenho mesmo exigindo tamanhos de cache até 80% menores do que os demais mecanismos.

Abstract. In this paper, we evaluate the use of partner selection mechanisms to increase the availability of chunks of interest among peers in peer-to-peer video-on-demand systems. We present the lifetime-based partner selection mechanism and compare it with other similar mechanisms through simulation. We show that the lifetime-based mechanism selects more efficient partners than the other mechanisms and does not require any additional control message due to users' interactivity. Thus, it provides a playback continuity higher than 99% and a cache hit-ratio higher than 95% for the interactivity patterns analyzed. The lifetime-based mechanism achieves this performance even requiring cache sizes up to 80% smaller than the other mechanisms.

1. Introdução

Recentemente, sistemas par-a-par de vídeo sob demanda têm atraído a atenção de pesquisadores e desenvolvedores [Huang et al. 2008, Vratonjic et al. 2007]. A maioria desses sistemas implementa a arquitetura de distribuição em malha¹, na qual um fluxo de vídeo é dividido em pedaços (*chunks*) e cada participante requisita explicitamente os pedaços de vídeo desejados de seus parceiros [Moraes et al. 2008b]. Embora tais sistemas empreguem uma arquitetura similar à arquitetura tipicamente usada pelos sistemas de difusão, que atualmente são um grande sucesso, o desenvolvimento dos sistemas de vídeo sob demanda é um grande desafio principalmente porque os participantes podem interagir com o sistema, pausando e saltando a reprodução do vídeo [Huang et al. 2008].

*Este trabalho foi realizado com recursos do CNPq, CAPES, FAPERJ, FINEP e FUNTTEL.

¹No restante deste artigo, ao se referir aos sistemas de vídeo par-a-par estará se referindo aos sistemas baseados na arquitetura de distribuição em malha.

Basicamente, a operação dos sistemas par-a-par de vídeo está baseada no estabelecimento de parcerias entre seus participantes, também chamados, deste ponto em diante, de pares, usuários e nós. Os parceiros são os vizinhos de um nó na rede sobreposta construída na camada de aplicação e um participante somente troca pedaços de vídeo com seus parceiros. Na difusão de vídeo, os participantes recebem e reproduzem o vídeo a partir do instante de sua requisição. Portanto, o tempo da requisição geralmente não corresponde ao início do vídeo. Além disso, na difusão, os participantes não podem controlar as ações de reprodução do vídeo. Assim, os participantes têm interesse em um dado conteúdo durante um mesmo período de tempo e, conseqüentemente, o progresso da reprodução do vídeo é fortemente sincronizado entre os participantes [Zhang et al. 2005]. Por isso, a troca de pedaços entre os participantes é facilitada, uma vez que todos têm interesse pelo mesmo trecho do vídeo ao mesmo tempo. Por outro lado, nos sistemas de vídeo sob demanda, cada participante pode estar assistindo a um determinado trecho do vídeo, dado que os participantes podem iniciar a reprodução do vídeo a qualquer instante e também podem interagir com o sistema durante a reprodução do vídeo. Assim, o número de participantes que simultaneamente se interessam por um mesmo trecho de um vídeo tende a ser menor por causa da dessincronização da reprodução entre os participantes. Logo, o número de parceiros que possuem pedaços de interesse também é menor.

Uma alternativa empregada pelos sistemas par-a-par de vídeo sob demanda mais recentes é o uso do *cache* de pedaços [Liu et al. 2008, Vratonjic et al. 2007]. Nesses sistemas, cada participante reserva espaço em disco para armazenar os pedaços de vídeo recebidos recentemente. Assim, os participantes que não estejam necessariamente assistindo ao mesmo trecho do vídeo podem ter pedaços para trocar, uma vez que todos ou uma parte dos pedaços de vídeo recebidos por um participante estão armazenados no seu *cache*. No entanto, o uso do *cache* para lidar com a dessincronização da reprodução dos parceiros possui alguns compromissos de custo e desempenho. O tamanho do *cache* dos participantes é limitado e, portanto, algoritmos de substituição de *cache* [Wu e Li 2009] são necessários. Quanto maior a qualidade do vídeo, maior a quantidade de espaço em disco necessária para armazenar os pedaços recebidos por unidade de tempo. A TV de alta definição se tornou popular e, com isso, os usuários desejam vídeos de alta qualidade mesmo na Internet. Porém, para armazenar 30 minutos de um vídeo de alta qualidade transmitido a uma taxa de 5 Mb/s, por exemplo, é necessário um espaço em disco da ordem de 1 GB. Além disso, a demanda por aplicações de distribuição de vídeo não está mais restrita aos usuários de computadores pessoais. Ela é cada vez maior entre usuários dotados de dispositivos móveis, que possuem severas restrições de espaço em disco [Moraes et al. 2008a]. Portanto, é necessário desenvolver mecanismos para reduzir o espaço em disco usado para armazenar os pedaços de vídeo recebidos.

Neste artigo, avalia-se o uso de mecanismos de seleção de parceiros para aumentar a disponibilidade de pedaços de interesse entre os participantes e também para reduzir o tamanho do *cache* exigido pelos sistemas par-a-par de vídeo sob demanda. Tais mecanismos podem empregar métricas de seleção que considerem, por exemplo, o tempo em que os participantes estão no sistema e suas interações para estabelecer parcerias entre participantes interessados nos mesmos conjuntos de pedaços de vídeo. São avaliados quatro mecanismos: a seleção aleatória, a seleção baseada na capacidade dos participantes, a seleção baseada no tempo de vida e a seleção baseada no tempo de reprodução. Mostra-se que o mecanismo de seleção baseado no tempo de vida, chamado de LIPS

(*Lifetime-based Peer Selection*), é mais eficiente do que os demais mecanismos analisados e não exige nenhuma mensagem de controle adicional em virtude da interatividade dos participantes. Por isso, proporciona uma continuidade de reprodução do vídeo superior a 99% para a maioria dos padrões de interatividade analisados e, mesmo sendo o mais eficiente, exige tamanhos de *cache* até 80% menores do que os demais mecanismos. O LIPS foi proposto em um trabalho anterior [Moraes e Duarte 2009], no qual comparou-se o seu desempenho apenas com o da seleção aleatória de parceiros usando como métrica de desempenho a interseção de interesses. Essa métrica indica apenas uma relação entre os tempos de reprodução dos parceiros e, portanto, não é possível avaliar a disponibilidade de pedaços de vídeo entre os participantes. Além disso, o impacto da variação do tamanho do *cache* de pedaços, um dos parâmetros mais importantes dos sistemas par-a-par de vídeo sob demanda, não foi avaliado. Portanto, o presente trabalho apresenta uma avaliação mais realista dos mecanismos de seleção de parceiros.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 discute os trabalhos relacionados à seleção de parceiros em sistemas par-a-par de vídeo. A Seção 3 apresenta o modelo do sistema adotado neste trabalho. A Seção 4 descreve brevemente o mecanismo de seleção de parceiros baseada no tempo de vida. A Seção 5 apresenta o ambiente de simulação usado na avaliação dos mecanismos. A Seção 6 compara o desempenho do LIPS com o de outros três mecanismos de seleção para vídeos com diferentes padrões de interatividade. Por fim, a Seção 7 conclui este trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

Atualmente, a maioria dos sistemas par-a-par de vídeo, tanto os de difusão quanto os de vídeo sob demanda, seleciona e atualiza os parceiros de um participante de forma aleatória [Zhang et al. 2005]. A seleção aleatória se justifica para a difusão do vídeo, porque todos os participantes do sistema estão interessados em um dado trecho do vídeo no mesmo intervalo de tempo. Por outro lado, no vídeo sob demanda, a seleção aleatória é menos eficiente, uma vez que os participantes entram no sistema em instantes diferentes e controlam a reprodução do vídeo. Sendo assim, cada participante pode ter um conjunto de pedaços de interesse diferente. Portanto, a probabilidade de um participante recém-chegado ao sistema selecionar parceiros com interesses mútuos depende do número de interações já feitas pelos participantes e do tempo em que os demais participantes estão no sistema. Esse tempo é levado em conta pelo LIPS para selecionar os parceiros e, por isso, o torna mais eficiente do que a seleção aleatória, como será visto adiante.

Existem propostas de mecanismos de seleção de pares para sistemas de difusão de vídeo [Liu et al. 2007, Cui et al. 2007] que buscam aumentar a eficiência do encaminhamento dos pedaços de vídeo. Por isso, o processo de seleção de pares é baseado em métricas de desempenho relacionadas normalmente à capacidade de transmissão, à continuidade de reprodução e à manutenção da qualidade do vídeo [Cui et al. 2007]. Liu *et al.* associam a garantia dos requisitos de qualidade de serviço da distribuição de vídeo à organização física dos nós na rede [Liu et al. 2007]. Segundo os autores, nós fisicamente próximos têm maiores chances de se tornarem melhores “encaminhadores” de vídeo. Por isso, busca-se construir a rede sobreposta de forma a otimizar as distâncias físicas entre os nós vizinhos. O LIPS difere dessa proposta por ser específico para a distribuição de vídeo sob demanda. Com o LIPS, reduz-se o principal problema do vídeo sob demanda, que é a disponibilidade de pedaços de interesse entre os parceiros durante a reprodução do

vídeo. Esse objetivo é priorizado em relação ao aumento da eficiência da distribuição ao se escolher parceiros, por exemplo, com maior banda passante disponível e menor atraso. Considera-se que é mais importante se ter pedaços de vídeo para trocar usando um enlace que não seja ótimo do que se ter um enlace ótimo, mas com poucos pedaços para trocar. Essa afirmação é comprovada ao se comparar o desempenho do LIPS e da seleção baseada na capacidade dos participantes, apresentada na Seção 6.

Outro ponto a ser discutido é a comparação entre o uso do tempo de vida e do tempo de reprodução como métricas de seleção de parceiros. Enquanto o tempo de vida expressa o intervalo de tempo decorrido entre a entrada do participante no sistema e o tempo atual, o tempo de reprodução é dado pelo intervalo de tempo do início do vídeo até o ponto de reprodução atual. Assim, o tempo de vida leva em conta apenas o momento em que o participante entrou no sistema enquanto o tempo de reprodução leva em conta toda e qualquer interação do participante com a reprodução do vídeo. Existem propostas de sistemas par-a-par de vídeo baseados na arquitetura em árvore que definem as relações de pai e filho de acordo com o tempo de reprodução dos participantes [Sharma et al. 2005, Guo et al. 2003]. A idéia básica é que os filhos estejam em pontos de reprodução anteriores aos dos pais. No entanto, dependendo do número e do tipo das interações, a frequência de reconstrução da árvore pode ser alta, o que aumenta a sobrecarga de controle e influencia a continuidade de recepção do vídeo. Não foi encontrado na literatura nenhum sistema baseado na arquitetura em malha que use o tempo de reprodução como métrica de seleção de parceiros. Apesar do tempo de reprodução ser uma métrica mais fiel do que o tempo de vida, o seu uso para selecionar os parceiros requer que a fonte e os participantes estejam atualizados sobre o tempo de reprodução atual de todos os participantes do sistema. Portanto, após toda interação, o ponto de reprodução de um participante deve ser difundido pela rede, o que aumenta consideravelmente a sobrecarga de mensagens de controle. Por isso, o tempo de vida foi escolhido como métrica de seleção do LIPS e, assim, evitar a sobrecarga de mensagens de controle.

3. Modelo do Sistema

Neste artigo, assume-se um sistema par-a-par de vídeo sob demanda que funciona da seguinte maneira. Todos os participantes do sistema são cooperativos e estão interessados no mesmo vídeo, que é dividido em pedaços. Um participante deve contatar a fonte para entrar no sistema. A fonte, por sua vez, envia para o participante que deseja entrar no sistema um subconjunto de participantes ativos, chamados de candidatos. Esse subconjunto é determinado de acordo com o mecanismo de seleção de parceiros empregado pelo sistema. O participante, então, envia uma requisição de estabelecimento de parcerias para cada candidato. Os candidatos que respondem com reconhecimentos positivos são considerados parceiros do novo participante. Um participante somente troca pedaços de vídeo com seus parceiros e possui um *cache* de pedaços, além do *buffer* de reprodução, ambos de tamanho predeterminado e fixo. O *buffer* de reprodução é usado para armazenar os pedaços que estão na iminência de serem enviados para o tocador de vídeo. O *cache*, por sua vez, armazena todos ou um subconjunto dos pedaços recebidos pelo participante. Além disso, os participantes armazenam somente pedaços do vídeo que estão assistindo e ao entrarem no sistema não possuem nenhum pedaço previamente armazenado no *cache*, exceto a fonte que possui todos os pedaços desde o início. A disponibilidade dos pedaços armazenados no *cache* é divulgada através da troca de mapas de *buffer* entre os par-

ceiros. Cada participante também define uma janela de pedaços de interesse, contendo os próximos W pedaços a serem requisitados por um participante. O tamanho da janela de interesse é definido em função do tamanho do *buffer* de reprodução [Shah e Pâris 2007]. Assume-se também que os pedaços da janela de interesse são escalonados de acordo com o algoritmo de seleção do mais-raro-primeiro (*rarest-first algorithm*) [Zhang et al. 2005].

4. A Seleção Baseada no Tempo de Vida

O objetivo do mecanismo de seleção de parceiros baseado no tempo de vida, chamado de LIPS (*Lifetime-based Peer Selection*) [Moraes e Duarte 2009], é formar parcerias entre participantes que tenham pedaços de interesse para trocar. Tal tarefa se torna mais difícil em sistemas de vídeo sob demanda, quando comparada à difusão de vídeo ao vivo, pois os participantes podem interagir com o vídeo pausando, avançando ou retrocedendo a sua reprodução. Dessa forma, o número de participantes que simultaneamente se interessam por um pedaço de vídeo específico é variável e, por isso, o número de parceiros dos quais se podem solicitar esse pedaço tende a ser menor do que na difusão de vídeo.

O processo de seleção de pares no LIPS é baseado no tempo de vida (*lifetime*) dos participantes. O tempo de vida indica há quanto tempo um usuário está no sistema assistindo a um determinado vídeo. Ele difere do tempo de reprodução, uma vez que ele é similar a um relógio de unidades de tempo e não se altera devido a uma interação. A suposição fundamental do LIPS é que participantes que entram no sistema em instantes próximos assistem a trechos próximos do vídeo e, provavelmente, estão interessados nos mesmos pedaços de vídeo. Portanto, esses participantes são selecionados como parceiros e, assim, aumenta-se a probabilidade de estabelecimento de parcerias entre participantes com pedaços de interesse para trocar. Além disso, se os parceiros estão assistindo à mesma parte do vídeo, eles estão interessados nos mesmos pedaços de vídeo ao mesmo tempo. Consequentemente, os pedaços de vídeo recebidos anteriormente podem ser descartados, porque ambos os participantes já assistiram/encaminharam tais pedaços. Assim, o LIPS reduz o tamanho do *cache* exigido dos participantes do sistema.

Algoritmo 1 Atualização do conjunto de parceiros.

Requer: $t = atualizar$, $\mathcal{A}(t) > 0$ e $n \in \mathcal{A}(t)$
 $novosParceiros \leftarrow calcNovosParceiros(\mathcal{A}(t), \mathcal{P}_n(t))$
 $\alpha \leftarrow 1$
enquanto $novosParceiros > 0$ ou $\alpha < A$ **faça**
 para todo nó $i \in \mathcal{A}(t)$ e $i \notin \mathcal{P}_n(t)$ e $i \neq n$ **faça**
 se $|l(t)_n - l(t)_i| < \alpha R$ e tamanho de $\mathcal{P}_n(t) < NUM_MAX_PARCEIROS$ **então**
 adicionar $(i, \mathcal{P}_n(t))$
 $novosParceiros \leftarrow novosParceiros - 1$
 fim do se
 fim do para
 $\alpha \leftarrow \alpha + 1$
 se $\alpha = A$ **então**
 adicionar $(fonte, \mathcal{P}_n(t))$
 fim do se
fim do enquanto

Com o LIPS, o processo de atualização do conjunto de parceiros, definido pelo Algoritmo 1, é periodicamente executado por cada participante. Esse processo é necessário,

porque o número máximo de parceiros pode ainda não ter sido atingido ou porque alguns dos parceiros podem ter falhado ou deixado o sistema. Além disso, um participante e seus parceiros podem mudar seus pontos de reprodução e, conseqüentemente, podem deixar de ter pedaços de interesse para trocar e, nesse caso, é interessante substituí-lo. As entradas do Algoritmo 1, no instante de atualização t , são o conjunto de participantes ativos no sistema, $\mathcal{A}(t)$, e o conjunto atual de parceiros do nó n , $\mathcal{P}_n(t)$. O algoritmo possui dois procedimentos principais. O primeiro calcula o número de parceiros a serem selecionados no instante t , representado pela variável *novosParceiros*. Os passos desse procedimento foram omitidos em virtude da falta de espaço e estão representados pela função `calcNovosParceiros($\mathcal{A}(t)$, $\mathcal{P}_n(t)$)`. O segundo procedimento seleciona os parceiros de n de acordo com o tempo de vida dos participantes ativos no sistema. Para tanto, utiliza-se a técnica de anel expansivo. Dois parâmetros são definidos, o fator de expansão do anel α e o limite do anel R , para determinar se o tempo de vida de um nó i , $l(t)_i$, é suficientemente próximo do tempo de vida de n , $l(t)_n$, de acordo com a equação $|l(t)_n - l(t)_i| < \alpha R$. Os primeiros parceiros selecionados são aqueles dentro do limite inicial R do anel. A cada passo do laço, se o número de parceiros a serem selecionados é diferente de zero ou se o parâmetro α ainda é menor do que o limiar A especificado, o parâmetro α é incrementado para expandir o limite do anel. O processo é repetido até um dos critérios de parada ser atingido. Se o algoritmo pára porque α é igual a A , a diferença máxima desejada entre os tempos de vida de n e de seus candidatos a parceiros foi atingida. Além disso, o tamanho do conjunto de parceiros pode não ter atingido o tamanho máximo possível. Nessa situação, dependendo dos valores de A , R e do tamanho do *cache* de pedaços, a diferença entre o tempo de vida de n e dos seus candidatos a parceiros pode ser grande e, provavelmente, tais participantes não terão pedaços de interesse para trocarem entre si. Por isso, adiciona-se a fonte ao conjunto de parceiros de n e, assim, o nó n poderá solicitar pedaços de vídeo diretamente à fonte.

5. O Ambiente de Simulação

Para avaliar o desempenho dos mecanismos de seleção de parceiros, foi desenvolvido um simulador específico, escrito em C++, que é composto por dois módulos. O primeiro é responsável pela geração da carga sintética para representar o comportamento interativo dos participantes durante a reprodução do vídeo. O segundo implementa os mecanismos de seleção de parceiros e o escalonamento e a troca de pedaços de vídeo.

O padrão de interatividade dos participantes afeta o desempenho dos mecanismos de seleção de parceiros. Segundo esse padrão, os participantes alteram o ponto de reprodução do vídeo e, conseqüentemente, alteram o trecho do vídeo no qual têm interesse. Neste trabalho, utiliza-se a caracterização de comportamento de usuários de Costa *et al.*, que define padrões de comportamento para duas categorias de vídeo: entretenimento e educacional [Costa et al. 2004]. Tais vídeos possuem diferentes durações, popularidades e frequências de interações. Os vídeos de entretenimento são parametrizados de acordo com arquivos de carga dos servidores da TV UOL, o serviço de vídeo sob demanda do maior provedor de acesso à Internet da América Latina. Os vídeos educacionais, por sua vez, têm seus parâmetros extraídos de arquivos de carga do eTeach, um servidor de conteúdo educacional localizado na Universidade de Winsconsin, EUA. A frequência de cada tipo de interação e as distribuições e seus respectivos parâmetros, extraídas do trabalho de Costa *et al.*, são apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Quatro mecanismos de seleção de parceiros são avaliados: o LIPS, a seleção aleatória, a seleção baseada na capacidade dos participantes e a seleção baseada no tempo de reprodução. O LIPS é implementado de acordo com o Algoritmo 1, assim como a seleção baseada no tempo de reprodução. Porém, ao invés de se considerar o tempo de vida dos participantes, considera-se o tempo de reprodução no qual se encontra o vídeo no instante da atualização. Dessa forma, os participantes selecionam como parceiros outros participantes em pontos de reprodução próximos ao seu. Na seleção aleatória, um participante sorteia seus parceiros entre os participantes disponíveis no sistema, tanto no instante de entrada quanto no instante de atualização. Os participantes disponíveis são os que estão ativos e que não atingiram o número máximo de parceiros definido pelo sistema. Na seleção baseada na capacidade, um participante seleciona como parceiros os participantes de maior capacidade de *upload* disponíveis. Assume-se, nesse caso, que a capacidade de *download* dos participantes é sempre suficiente para receber os pedaços enviados pelos parceiros na taxa máxima de transmissão.

Table 1. Frequência e tipo de interações dos participantes.

	Entretenimento (TV UOL)	Educacional (eTeach)
Tamanho do vídeo	5 minutos	20 minutos
Interações por usuário	1,29	4,74
Pausa	83%	57%
Salto para trás	13%	25%
Salto para frente	4%	18%

Table 2. Distribuições que caracterizam o comportamento dos participantes.

	Entretenimento (TV UOL)	Educacional (eTeach)
Tamanho do vídeo	5 minutos	20 minutos
Chegada dos participantes	Exponencial (média = 10 s)	Lognormal ($\mu = 3,95, \sigma = 0,95$, média = 81,55 s)
Duração da pausa	Weibull ($\alpha = 11,11, \beta = 0,57$, média = 25 s)	Weibull ($\alpha = 13, \beta = 0,42$ média = 55 s)
Distância de saltos para trás	Exponencial (média = 20 s)	Exponencial (média = 40 s)
Distância de saltos para frente	Exponencial (média = 7 s)	Exponencial (média = 40 s)

6. Resultados

O desempenho do LIPS é comparado, através de simulações, com o desempenho da seleção aleatória, da seleção baseada na capacidade de *upload* dos participantes e da seleção baseada no tempo de reprodução do vídeo. Os quatro mecanismos são avaliados para o vídeo de entretenimento e o educacional, apresentados na Seção 5. As métricas usadas na avaliação indicam a eficiência dos parceiros selecionados por cada mecanismo e o impacto dessa seleção na continuidade de reprodução do vídeo, um dos parâmetros mais críticos para se determinar a satisfação dos usuários com o vídeo recebido.

Os seguintes parâmetros de simulação são considerados na avaliação. A taxa de reprodução dos dois vídeos é igual a 350 kb/s e que um pedaço contém 10 s de vídeo. Assim, o tamanho de um pedaço de vídeo é igual a 437,5 kB. Os tamanhos do vídeo de entretenimento e do educacional são, respectivamente, $V = 30$ e $V = 120$ pedaços. Durante a simulação, 200 participantes chegam aos sistemas para assistir aos vídeos. Esse é o número de participantes durante toda a simulação e não o número de participantes simultâneos no sistema. O número de participantes simultâneos indica a popularidade do vídeo que é determinada pelo intervalo entre as chegadas dos participantes. Portanto, o vídeo de entretenimento é o mais popular do que o vídeo educacional, de acordo os dados da Tabela 2. Assume-se que os participantes iniciam a reprodução do ponto inicial do vídeo² e que nenhum falha ou deixa o sistema durante a reprodução do vídeo. São definidas quatro capacidades de *upload* diferentes de acordo com resultados experimentais apresentados por Huang *et al.* [Huang et al. 2008]. Os participantes podem contribuir com 200 (36%³), 360 (28%), 600 (25%) e 1000 kb/s (11%). A capacidade da fonte é igual a 1000 kb/s. Para aumentar a eficiência da seleção, a cada atualização, os quatro mecanismos substituem o parceiro de menor utilidade de um participante. A utilidade de um parceiro é definida pelo número de pedaços de interesse recebidos desse parceiro em um intervalo de atualização, que é igual a 10 s. Para todos os mecanismos, o número máximo de parceiros é igual a 4 [Zhang et al. 2005]. O número de participantes que se conecta diretamente à fonte também é limitado a 8. Considera-se que o tamanho do *buffer* de reprodução é igual a 60 s para todos os vídeos e, portanto, o tamanho da janela de interesse é $W = 6$ pedaços [Shah e Pâris 2007]. Consideram-se ainda os seguintes parâmetros para o LIPS e a seleção baseada no tempo de reprodução. O limite do anel R é definido de acordo com o intervalo médio entre as chegadas dos participantes considerado para cada vídeo. Portanto, $R=10$ s para o vídeo de entretenimento e $R=80$ s para o educacional. O limiar do fator de expansão é igual a $A = 10$ para os dois vídeos. O mesmo padrão de interatividade gerado a cada rodada de simulação é aplicado aos quatro mecanismos. Para todos os pontos das curvas apresentadas, calcula-se um intervalo de confiança para um nível de confiabilidade de 95%, representado por barras verticais.

Assume-se que o tamanho do *cache* é fixo e igual para todos os participantes. Sendo assim, um *cache* de P pedaços significa que um participante pode armazenar até P pedaços do vídeo em seu disco rígido. Esses P pedaços de vídeo correspondem aos W pedaços que pertencem à atual janela de interesse e aos $P - W$ pedaços anteriores ao início da janela. Os demais pedaços são removidos do *cache* à medida que o vídeo é reproduzido. É importante ressaltar que um *cache* de 100% do tamanho do vídeo significa que todos os pedaços recebidos podem ser mantidos no *cache*, independentemente do ponto atual de reprodução, e não que um participante já possui todos os pedaços armazenados.

Primeiramente, analisa-se a eficiência dos parceiros selecionados por cada um dos mecanismos de acordo com a taxa de acerto (*hit ratio*) e o número de pedaços de interesse por parceiro. A taxa de acerto é definida como o percentual de pedaços de interesse que um participante encontra armazenados no *cache* de seus parceiros, excluindo-se a fonte. O número de pedaços de interesse por parceiro indica quantos fornecedores um pedaço possui. Essas duas métricas, portanto, avaliam a disponibilidade de pedaços de interesse

²Mais de 98% dos usuários iniciam a reprodução do vídeo do seu começo [Costa et al. 2004].

³O percentual de participantes com essa capacidade no sistema.

entre os parceiros. Quanto maior a taxa de acerto e quanto mais pedaços de interesse por parceiro, maior a disponibilidade de pedaços nos parceiros. As Figuras 1 e 2 apresentam, respectivamente, a taxa de acerto e o número de pedaços de interesse por parceiro em função do tamanho do *cache*. Pode-se notar também que quanto maior o número de pedaços armazenados no *cache*, maior a probabilidade dos participantes terem pedaços de interesse para trocar. Na avaliação, o *cache* varia de 20% a 100% do tamanho do vídeo de entretenimento e de 10% a 100% do vídeo educacional em termos de pedaços de vídeo. Essa diferença se deve ao fato de que a janela de interesse é maior do que 10% do tamanho vídeo de entretenimento. Cada ponto das curvas representa o valor médio da métrica em questão para todos os participantes do sistema. Em algumas figuras, as curvas do LIPS (cruzes) e da seleção baseada no tempo de reprodução (triângulos) estão sobrepostas, assim como, as curvas da seleção aleatória (quadrados) e da baseada na capacidade dos participantes (círculos). Isso se deve ao fato de que tais mecanismos apresentam desempenhos similares em alguns dos cenários analisados.

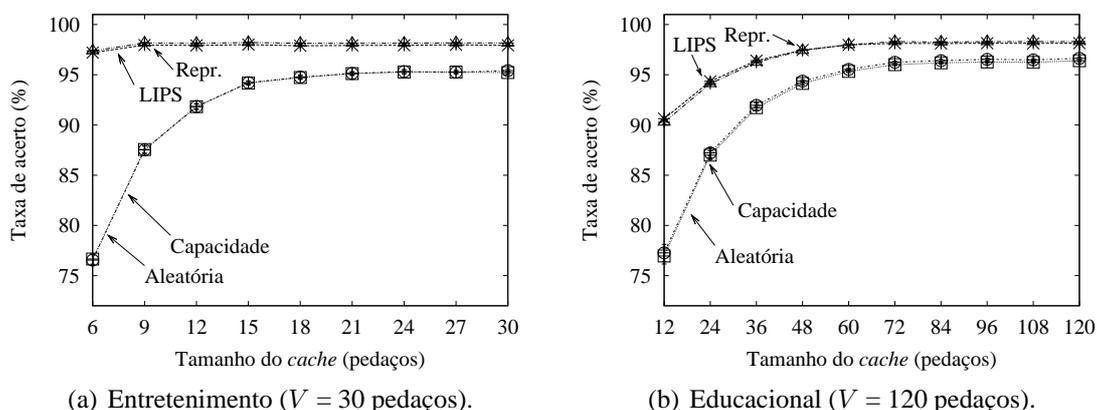


Figure 1. A taxa de acerto em função do tamanho do *cache*.

A Figura 1 mostra que o LIPS é o mais eficiente dos quatro mecanismos. Tal mecanismo proporciona taxas de acerto mais altas do que a seleção aleatória e a seleção baseada na capacidade de *upload* para os dois vídeos, independentemente do tamanho do *cache*. Além disso, o LIPS proporciona taxas de acerto similares à seleção baseada no tempo de reprodução com a vantagem de não exigir mensagens de controle adicionais, como é visto adiante. Para o vídeo de entretenimento, de acordo com a Figura 1(a), o LIPS atinge uma taxa de acerto superior a 97% considerando um *cache* de apenas 6 pedaços de vídeo, o que corresponde a apenas 20% do tamanho do vídeo. Por outro lado, essa taxa de acerto não é atingida pela seleção aleatória e pela seleção com base na capacidade de *upload*, cujas taxas máximas são, respectivamente, 95,2% e 95,4% quando 100% do vídeo pode ser armazenado no *cache*. Observa-se também que a taxa máxima de acerto da seleção baseada no tempo de reprodução é apenas 0,3% superior à taxa máxima do LIPS. Para o vídeo educacional, ilustrado pela Figura 1(b), a taxa de acerto proporcionada pelo LIPS, considerando um *cache* que pode armazenar até 40% dos pedaços do vídeo, já é superior à taxa máxima de acerto da seleção aleatória e da seleção baseada na capacidade dos participantes. Nesse caso, a taxa de acerto com o LIPS é de aproximadamente 97,5%. Além disso, a taxa máxima obtida com o LIPS é igual a 98,2% que é apenas 0,1% inferior a da seleção com base no tempo de reprodução. É possível concluir também que

o desempenho do LIPS é influenciado pela popularidade dos vídeos. Para vídeos mais populares, taxas próximas à máxima são alcançadas para tamanhos de *cache* pequenos se comparados ao tamanho do vídeo. Com o LIPS, para um *cache* de 20% do tamanho do vídeo de entretenimento, o mais popular, a taxa de acerto é apenas 0,7% inferior à taxa máxima. Para o vídeo educacional, o menos popular, essa diferença é de 3,15%. Quanto mais popular é o vídeo, menor o intervalo médio entre as chegadas dos participantes. Consequentemente, maior é a probabilidade de participantes estarem interessados em pedaços relativos a trechos próximos do vídeo e, assim, a dependência do sistema em relação ao tamanho do *cache* é reduzida.

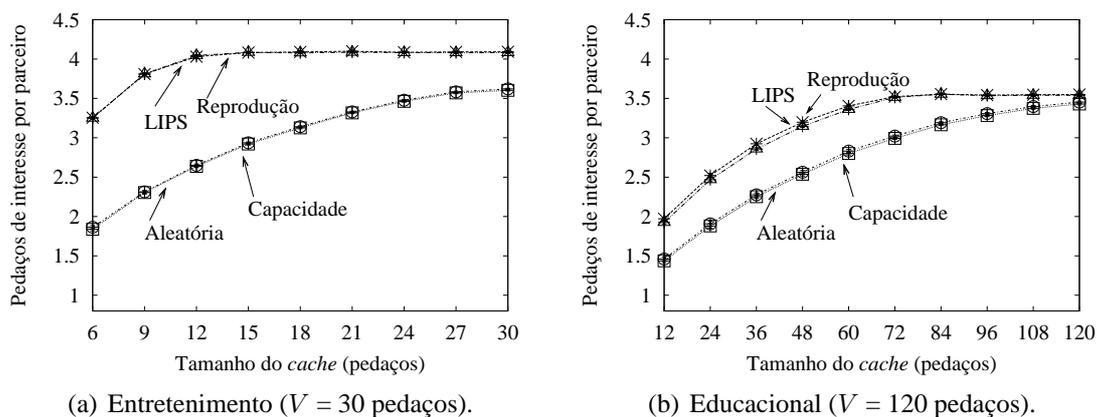


Figure 2. Pedacos de interesse por parceiro em função do tamanho do *cache*.

As Figuras 2(a) e 2(b) mostram que com o LIPS os parceiros selecionados têm mais pedaços de interesse disponíveis para os dois vídeos, quando comparado à seleção aleatória e à baseada na capacidade dos participantes. O desempenho do LIPS e da seleção com base no tempo de reprodução são similares, porém mecanismo que usa o tempo de reprodução requer mais mensagens de controle. Para o vídeo de entretenimento, os parceiros selecionados pelo LIPS possuem mais de 3,8 pedaços de interesse para tamanhos de *cache* que podem armazenar pelo menos 9 pedaços de vídeo. Como a janela de interesse possui 6 pedaços, um parceiro selecionado pelo LIPS possui, em média, mais de 60% dos pedaços que interessam a um participante. Esse valor é igual a 38%, por exemplo, para a seleção aleatória e o mesmo tamanho de *cache*. Para o vídeo educacional, o número de pedaços de interesse por parceiro varia entre 33 e 58% da janela de interesse. Esses valores são superiores ou similares aos proporcionados pelos demais mecanismos.

A explicação para o melhor desempenho do LIPS é a seguinte. A probabilidade de um participante recém-chegado ao sistema selecionar parceiros com pedaços de interesse depende de dois fatores: o tempo em que os demais participantes chegam ao sistema e o número de interações já feitas por eles. A seleção aleatória e a baseada na capacidade dos participantes não consideram nenhum desses parâmetros. Por outro lado, o LIPS seleciona os parceiros de acordo com o tempo em que o participante está no sistema. Isso também explica o bom desempenho da seleção de parceiros baseada no tempo de reprodução. Dessa forma, a probabilidade do estabelecimento de parcerias entre participantes com pedaços de interesse para trocar aumenta, pois com o LIPS essa probabilidade depende apenas da interatividade dos participantes. Como mostram os resultados, a escolha dos parceiros baseada simplesmente no tempo de vida é suficiente para aumentar

o desempenho do sistema em relação aos demais mecanismos analisados para diferentes padrões de interatividade. Isso mostra que a escolha de parceiros com tempos de entrada muito diferentes afeta mais a disponibilidade de pedaços de interesse entre os parceiros do que a interatividade dos participantes nos cenários analisados.

A principal diferença entre o LIPS e a seleção baseada no tempo de reprodução está na quantidade de mensagens de controle requerida por cada um dos mecanismos. O mecanismo baseado no tempo de reprodução envia mensagens de controle a cada interação de todos os participantes do sistema. Após uma interação, os participantes enviam uma mensagem de controle para a fonte para atualizá-la sobre o seu ponto atual de reprodução. Além disso, ao se escolher novos parceiros, um participante deve enviar uma nova mensagem de controle à fonte requisitando os participantes ativos com tempos de reprodução próximos ao seu. A fonte, por sua vez, responde ao participante com outra mensagem de controle contendo a lista de candidatos. Portanto, cada interação gera uma mensagem de controle adicional e a cada seleção de parceiro são necessárias mais duas mensagens de controle. Por outro lado, com o LIPS, não são necessárias novas mensagens de controle a cada interação porque o tempo de vida não se altera com as interações dos participantes. Ele é facilmente atualizado pela fonte e pelos demais participantes do sistema de forma totalmente independente e autônoma, bastando apenas que um contador seja incrementado [Moraes e Duarte 2009]. Assim, considerando os mesmos cenários analisados nas Figuras 1 e 2, o número de mensagens de controle adicionais introduzidas pela seleção baseada no tempo de reprodução é de 6733 ($\sigma = 54$) para o vídeo de entretenimento e de 26941 ($\sigma = 196$) para o educacional. O número de mensagens de controle não é analisado em função do tamanho do *cache*, pois só depende do número de interações realizadas pelos participantes. Conclui-se, então, que com LIPS é possível se obter uma eficiência similar a da seleção baseada no tempo de reprodução, porém, sem nenhuma mensagem de controle adicional.

Após avaliar a eficiência dos mecanismos de seleção, analisa-se a qualidade do vídeo recebido proporcionada por cada mecanismo. As métricas consideradas são o índice de continuidade e o número de participantes que esperam por pedaços de vídeo atrasados. Dependendo dos parceiros selecionados, é possível que um participante não possua armazenado em seu *cache* ou em seu *buffer* de reprodução um pedaço relativo ao ponto atual de reprodução do vídeo. Conseqüentemente, a reprodução do vídeo nesses participantes é interrompida até que ele receba o pedaço atrasado ou um temporizador estoure. O tempo total em que a reprodução do vídeo fica interrompida por causa da falta de pedaços necessários para o ponto atual de reprodução do vídeo é chamado de tempo de espera. De acordo com o tempo de espera t_e , é possível calcular o índice de continuidade c , relativo à reprodução do vídeo em cada participante, de acordo com a equação $c = \frac{t_r - t_e}{t_r}$, onde t_r é o tempo total de reprodução do vídeo, ou seja, o tempo em que o usuário assiste ao vídeo normalmente. Sendo assim, um índice de continuidade igual 100% significa que um usuário recebeu o vídeo sem interrupções.

Quanto mais pedaços de interesse disponíveis nos parceiros selecionados, mais fácil se torna manter a continuidade do vídeo. Essa afirmativa é confirmada pela Figura 3 e explica o melhor desempenho do LIPS. Essa figura mostra o índice de continuidade médio de todos os participantes em função do tamanho do *cache* para os quatro mecanismos de seleção. Nota-se que o LIPS proporciona um índice de continuidade superior a

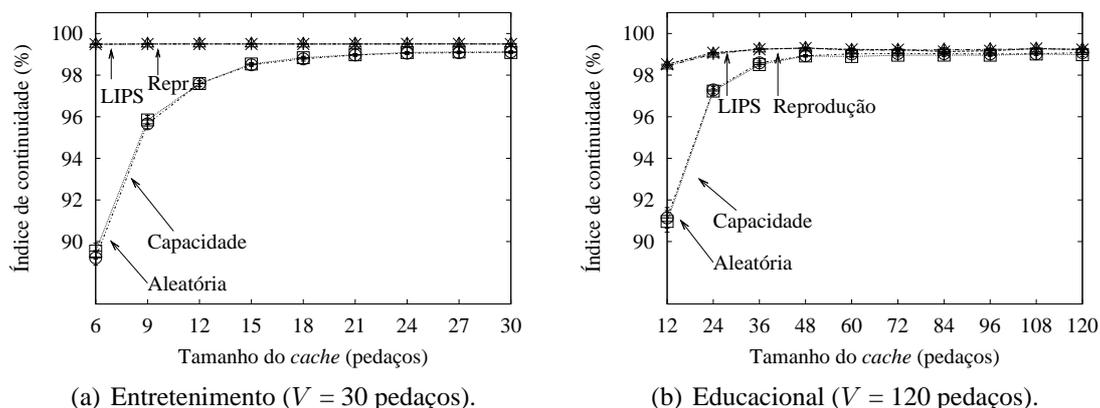
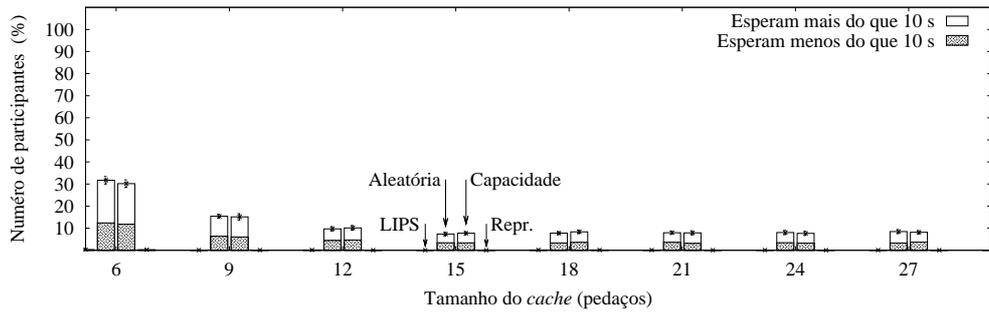
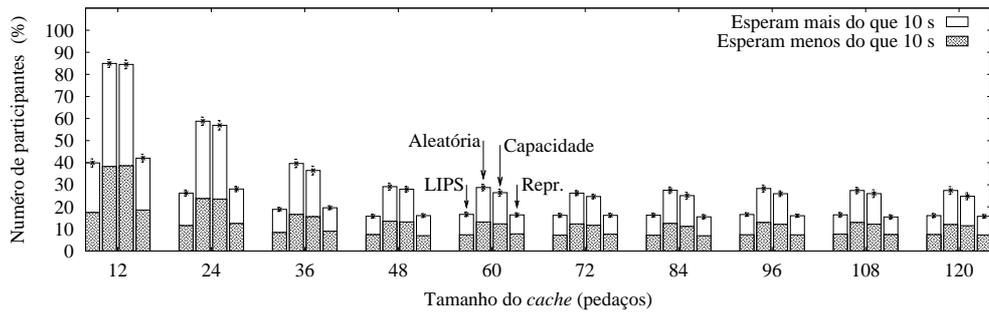


Figure 3. O índice de continuidade em função do tamanho do *cache*.

99% para os dois vídeos, considerando *caches* da ordem de 20% do tamanho dos vídeos. Para o vídeo de entretenimento e um *cache* de 6 pedaços, a diferença entre o índice de continuidade com o LIPS e com a seleção aleatória e a baseada na capacidade é da ordem de 10%. Considerando que o tempo total de reprodução é igual à duração do vídeo, esse valor corresponde a 30 s. Da mesma forma para o vídeo educacional e um *cache* de 12 pedaços, essa diferença é da ordem de 7,5%. Porém, como o vídeo educacional é mais longo, os participantes esperam cerca de 90 s a mais quando se considera a seleção aleatória ou a baseada na capacidade ao invés do LIPS. Tal fato pode ser observado também na Figura 4, que mostra o número de participantes que esperam por pedaços atrasados e o tempo de espera em função do tamanho do *cache* para os quatro mecanismos. As partes listradas e brancas de cada barra vertical representam, respectivamente, o percentual de participantes que esperam menos e mais de 10 s para receber um pedaço de vídeo atrasado. Essa é a duração de um pedaço de vídeo. A soma das duas partes representa o número total de participantes que esperam por pedaços atrasados. Para cada tamanho de *cache*, tem-se um grupo de quatro barras, cada uma representado um mecanismo. Da esquerda para direita, as barras representam, nessa ordem, o LIPS, a seleção aleatória, a baseada na capacidade e a baseada no tempo de reprodução. Observa-se que, com o LIPS, menos participantes esperam por pedaços de vídeo atrasados. Para todos os vídeos e mecanismos, quanto maior o tamanho do *cache*, menor o número de participantes que esperam por pedaços atrasados. No entanto, para o vídeo de entretenimento ilustrado pela Figura 4(a), o LIPS faz com que menos de 1% dos participantes esperem por pedaços atrasados, mesmo que apenas 6 pedaços de vídeo possam ser armazenados no *cache*. Esse desempenho é similar ao da seleção baseada no tempo de reprodução. Para os demais mecanismos, o tempo de espera varia entre 30% e 8%, respectivamente, para o menor e o maior tamanho de *cache* considerado e a maioria dos participantes esperam mais do que 10 s para receber um pedaço atrasado. Para o vídeo educacional, um *cache* de 36 pedaços é suficiente para garantir o melhor desempenho do LIPS quando se compara o mecanismo proposto com a seleção aleatória e seleção baseada na capacidade. Para esse tamanho de *cache* com o LIPS ou com a seleção baseada no tempo de reprodução, aproximadamente 18% dos participantes podem experimentar uma interrupção na reprodução do vídeo. Esse número cresce para aproximadamente 25% quando os outros dois mecanismos podem armazenar todos os pedaços de vídeo no *cache*.



(a) Entretenimento ($V = 30$ pedaços).



(b) Educacional ($V = 120$ pedaços).

Figure 4. Participantes que esperam por pedaços de vídeo atrasados em função do tamanho do *cache*.

7. Conclusão

Neste trabalho, avaliou-se o uso de mecanismos de seleção de parceiros para aumentar a disponibilidade de pedaços de interesse em sistemas par-a-par de vídeo sob demanda. O desempenho do mecanismo LIPS, que seleciona os parceiros de um participante de acordo com o tempo de vida, foi comparado com o desempenho de outros três mecanismos similares através de simulações. Foram considerados ainda diferentes padrões de comportamento de usuários, representados pelos vídeos de entretenimento e educacional, e métricas que indicam a eficiência dos parceiros selecionados e a qualidade da recepção do vídeo. Os resultados mostram que o LIPS é o mecanismo que seleciona os parceiros mais eficientes e, por isso, garante uma alta continuidade de reprodução do vídeo nos participantes. Nos cenários analisados, o LIPS proporciona uma taxa de acerto mais alta e um número médio de pedaços de interesse por parceiro maior se comparado à seleção aleatória e à seleção baseada na capacidade dos participantes, independentemente do tamanho do *cache*. Para o vídeo de entretenimento, o mais popular, a taxa de acerto máxima e o número máximo de pedaços de interesse por parceiro com o LIPS são, respectivamente, 97,9% e 4,09. Com a seleção aleatória e a baseada na capacidade, esses valores são iguais a 95,4% e 3,6. Além disso, mostra-se que o LIPS é tão eficiente quanto à seleção baseada no tempo de reprodução com a vantagem de não introduzir nenhuma mensagem de controle adicional devido às interações dos participantes. Nos cenários analisados, essa sobrecarga pode ser da ordem de milhares de mensagens. Mostra-se também que quanto maior a eficiência dos parceiros selecionados, menor a probabilidade de se esperar por pedaços para continuar a reprodução do vídeo sem interrupções. Por isso, o LIPS é o mecanismo que proporciona os mais altos índices de continuidade.

Com o LIPS, esse índice é superior a 99% para os vídeos analisados, quando é possível armazenar pelo menos 20% dos pedaços desses vídeos no *cache*.

References

- Costa, C., Cunha, I., Borges, A., Ramos, C., Rocha, M., Almeida, J. e Ribeiro Neto, B. (2004). Analyzing client interactivity in streaming media. Em *Intl. World Wide Web Conference - WWW*, páginas 534–543.
- Cui, Y., Dai, L. e Xue, Y. (2007). Optimizing P2P streaming throughput under peer churning. Em *IEEE GLOBECOM*, páginas 231–235.
- Guo, Y., Suh, K., Kurose, J. e Towsley, D. (2003). P2Cast: peer-to-peer patching scheme for VoD service. Em *Intl. World Wide Web Conference - WWW*, páginas 301–309.
- Huang, Y., Fu, T. Z., Chiu, D.-M., Lui, J. C. e Huang, C. (2008). Challenges, design and analysis of a large-scale P2P-VoD system. Em *ACM SIGCOMM*, páginas 375–388.
- Liu, J., Rao, S. G., Li, B. e Zhang, H. (2008). Opportunities and challenges of peer-to-peer Internet video broadcast. *Proc. IEEE*, 96(1):11–24.
- Liu, Z., Shen, Y., Panwar, S., Ross, K. e Wang, Y. (2007). On scalability of proximity-aware peer-to-peer streaming. Em *IEEE INFOCOM*, páginas 2561–2565.
- Moraes, I. M., Campista, M. E. M., Duarte, J. L., Passos, D. G., Costa, L. H. M. K., Rubinstein, M. G., de Albuquerque, C. V. N. e Duarte, O. C. M. B. (2008a). On the impact of user mobility on peer-to-peer video streaming. *IEEE Wireless Commun. Mag.*, 15(6):54–62.
- Moraes, I. M., Campista, M. E. M., Moreira, M. D. D., Rubinstein, M. G., Costa, L. H. M. K. e Duarte, O. C. M. B. (2008b). Distribuição de vídeo sobre redes par-a-par: Arquiteturas, mecanismos e desafios. Em *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC*, páginas 115–171.
- Moraes, I. M. e Duarte, O. C. M. B. (2009). Um mecanismo de seleção de pares baseado no tempo de vida dos participantes em sistemas de vídeo par-a-par. Em *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC*, páginas 715–728.
- Shah, P. e Pâris, J. F. (2007). Peer-to-peer multimedia streaming using BitTorrent. Em *IEEE Intl. Performance, Computing, and Communications Conference - IPCCC*, páginas 340–347.
- Sharma, A., Bestavros, A. e Matta, I. (2005). dPAM: a distributed prefetching protocol for scalable asynchronous multicast in P2P systems. Em *IEEE INFOCOM*, páginas 1139–1150.
- Vratonjic, N., Gupta, P., Knezevic, N., Kostic, D. e Rowstron, A. (2007). Enabling DVD-like features in P2P video-on-demand systems. Em *Peer-to-Peer Streaming and IP-TV Workshop - P2P-TV*, páginas 329–334.
- Wu, J. e Li, B. (2009). Keep cache replacement simple in peer-assisted VoD systems. Em *IEEE INFOCOM Mini-Conference*.
- Zhang, X., Liu, J., Li, B. e Yum, T.-S. P. (2005). CoolStreaming/DONet: A data-driven overlay network for peer-to-peer live media streaming. Em *IEEE INFOCOM*, páginas 2102–2111.